



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0050490
(43) 공개일자 2025년04월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 30/28 (2020.01) G06F 111/04 (2020.01)
G06F 111/10 (2020.01) G06F 113/08 (2020.01)
G06F 119/14 (2020.01) G06F 30/17 (2020.01)
G06F 30/18 (2020.01) G06F 30/27 (2020.01)

(52) CPC특허분류

G06F 30/28 (2020.01)
G06F 30/17 (2020.01)

(21) 출원번호 10-2023-0133571

(22) 출원일자 2023년10월06일

심사청구일자 2023년10월06일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

디와이오토 주식회사

충청남도 아산시 도고면 도고면로 48-23

(72) 발명자

신현성

서울특별시 영등포구 당산로42길 16, 507동 303호 (당산동4가, 당산현대5차아파트)

이규희

서울특별시 광진구 아차산로 480, 비잔티움 710호 (구의동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 9 항

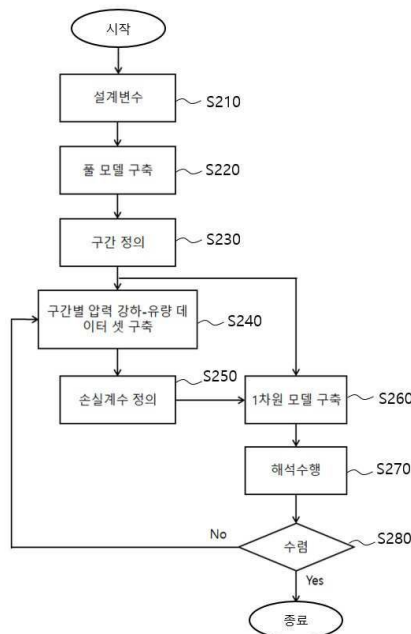
(54) 발명의 명칭 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법 및 장치에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 근사모델 생성 장치에 의해 수행되는 근사모델 생성 방법에 있어서, 모델링 대상이 되는 유공압 시스템에 대한 부품의 형상을 포함한 복수의 속성 정보를 설계 변수로 지정하고, 목표로 하는 복수의 성능 지표를 타겟 변

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



수로 지정하는 단계; 상기 지정한 설계 변수와 타겟 변수를 이용하여 생성한 소형 데이터 셋을 이용하여 상기 유공압 시스템의 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 위한 풀 모델을 구축하는 단계; 상기 풀 모델에서 상기 유공압 시스템의 전체 유체 배관을 설정 크기의 요소 구간으로 구분하고 각 요소 구간에 대해 설계 변수에 따른 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 수행하여 목표하는 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋을 구축하는 단계; 상기 각 요소 구간 별로 구축되는 상기 복수의 성능 지표의 데이터 셋을 설정 알고리즘에 적용하여 상기 요소 구간의 유동 손실 계수를 추출하는 단계; 및 상기 각 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간의 유동 손실 계수를 바탕으로 상기 유공압 시스템에 대한 1차원 근사 모델을 구축하는 단계를 포함한다.

본 발명에 따르면, 유공압 시스템을 1차원 해석으로 적절히 단순화하고 해석 시간을 감소시켜 디자인 변경에 따른 제품 성능을 효율적으로 예측할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06F 30/18 (2020.01)

G06F 30/27 (2020.01)

G06F 2111/04 (2020.01)

G06F 2111/10 (2020.01)

G06F 2113/08 (2020.01)

G06F 2119/14 (2020.01)

Y10S 706/92 (2013.01)

(72) 발명자

김재훈

인천광역시 미추홀구 재념이길61번길 17-13, B동
201호 (학익동, 아트홈빌라)

김수환

인천광역시 미추홀구 인하로91번길 113, 한결빌
202호 (용현동)

안지연

충청남도 아산시 도고면 도고면로 48-23

이수윤

충청남도 아산시 도고면 도고면로 48-23

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415182653

과제번호 P0021345

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국산업기술진흥원

연구사업명 중견기업DNA융합산학협력프로젝트

연구과제명 제품 설계 데이터와 인공지능망 기술을 융합한 성능 예측 및 검증이 가능한 신제품
최적화 설계 협업 시스템 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 디와이오토(주)

연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

모델링 대상이 되는 유공압 시스템에 대한 부품의 형상을 포함한 복수의 속성 정보를 설계 변수로 지정하고, 목표로 하는 복수의 성능 지표를 타겟 변수로 지정하는 단계;

상기 지정된 설계 변수와 타겟 변수를 이용하여 생성한 소형 데이터 셋을 이용하여 상기 유공압 시스템의 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 위한 풀 모델을 구축하는 단계;

상기 풀 모델에서 상기 유공압 시스템의 전체 유체 배관을 설정 크기의 요소 구간으로 구분하고 각 요소 구간에 대해 설계 변수에 따른 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 수행하여 목표하는 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋을 구축하는 단계;

상기 각 요소 구간 별로 구축되는 상기 복수의 성능 지표의 데이터 셋을 설정 알고리즘에 적용하여 상기 요소 구간의 유동 손실 계수를 추출하는 단계; 및

상기 각 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간의 유동 손실 계수를 바탕으로 상기 유공압 시스템에 대한 1차원 근사 모델을 구축하는 단계를 포함하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 부품의 형상을 포함한 복수의 속성 정보는,

상기 부품의 형상 이외에, 부품간 연결 구조, 부품의 크기, 재질, 물성 중 적어도 하나를 더 포함하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋은,

상기 요소 구간에서의 유체 압력과 유량에 대한 데이터셋을 포함하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 유동 손실 계수를 추출하는 단계는,

상기 유체 압력과 유량에 대한 데이터셋을 상기 유체 압력과 유량 사이의 관계를 모사한 유체역학적 모형 또는 인공지능망 모델에 적용하여, 상기 설계 변수에 따른 상기 요소 구간에서의 유체 압력과 유량 사이의 유동 손실 계수를 추출하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 1차원 근사 모델을 구축하는 단계는,

상기 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간의 유동 손실 계수를 통합하여 상기 유공압 시스템의 전체 네트워크를 1차원으로 단순화하여 모사한 강성 행렬(stiffness matrix)을 구축하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 1차원 근사 모델을 구축하는 단계는,

상기 요소 구간의 유체 압력과 유량에 대한 선형 관계식을 바탕으로 전체 네트워크에 대한 강성 행렬을 구축하고, 상기 유공압 시스템의 구조와 상기 성능 지표를 통해 모델 최적화를 위한 경계 조건(boundary condition)을 설정하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 1차원 근사 모델에 대한 해석을 반복 수행하여 상기 1차원 근사 모델을 최적화하는 단계를 더 포함하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 1차원 근사 모델을 최적화하는 단계는,

상기 1차원 근사 모델에 대한 반복 계산을 통하여 설정된 경계 조건을 만족할 때까지 성능 지표의 값을 업데이트하는 최적화 작업을 수행하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법.

청구항 9

모델링 대상이 되는 유공압 시스템에 대한 부품의 형상을 포함한 복수의 속성 정보를 설계 변수로 지정하고, 목표로 하는 복수의 성능 지표를 타겟 변수로 지정하는 변수 설정부;

상기 지정된 설계 변수와 타겟 변수를 이용하여 생성한 소형 데이터 셋을 이용하여 상기 유공압 시스템의 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 위한 풀 모델을 구축하는 풀 모델 구축부;

상기 풀 모델에서 상기 유공압 시스템의 전체 유체 배관을 설정 크기의 요소 구간으로 구분하고 각 요소 구간에 대해 설계 변수에 따른 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 수행하여 목표하는 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋을 구축하는 데이터셋 구축부;

상기 각 요소 구간 별로 구축되는 상기 복수의 성능 지표의 데이터 셋을 설정 알고리즘에 적용하여 상기 요소 구간의 유동 손실 계수를 추출하는 손실계수 추출부; 및

상기 각 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간의 유동 손실 계수를 바탕으로 상기 유공압 시스템에 대한 1차원 근사 모델을 구축하는 1차원 모델 구축부를 포함하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 장치.

발명의 설명**기술 분야**

[0001] 본 발명은 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법 및 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 유공압 시스템을 1차원 해석으로 적절히 단순화하고 해석 시간을 감소시킬 수 있는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유공압 시스템은 기계 공학, 화학 공학, 생명 공학 분야에서 광범위하게 사용된다. 이러한 유공압 시스템은 적게는 수십 종류에서 많게는 수만 종류의 파이프, 커넥터, 분배기, 피팅, 노즐 등을 포함하는 각종 부품들로 구성되어 있다.

[0003] 다양한 산업 분야에 적용되는 유공압 시스템의 복잡도는 그 시스템이 적용되는 분야의 전문화된 목적에 따라 폭발적으로 증가하고 있는 추세이다. 이러한 환경은 시스템 내외부의 물리 화학적 환경에 의해 단일 부품의 해석

으로는 유추할 수 없는 복잡한 유동 현상을 유발하고 때로는 전체 시스템의 제어 수준에 영향을 미칠 수 있다.

- [0004] 유공압 시스템의 복잡성이 증가하고 제품 테스트와 수정 작업에 소요되는 개발 시간과 비용이 증가하는 경향에 따라 효율적인 시뮬레이션 해석기술의 필요성이 증가하고 있다.
- [0005] 유공압 시스템의 성능 평가를 위해 컴퓨터 CAD 프로그램을 사용하여 부품 형상을 모델링하고 전산 유체 역학 (CFD, Computational fluid dynamic) 프로그램을 이용한 유체역학 시뮬레이션을 진행한다. 복잡한 형상의 유공압 시스템의 개발 프로세스에서 디자인 검증 과정을 디지털 트윈을 위시한 가상 검증으로 대체하는 요구가 지속적으로 발생하고 있다.
- [0006] 그런데, 파이프 직경 대비 전체 유체 경로의 길이가 매우 큰 유공압 시스템의 특성상 유동 해석을 위한 시뮬레이션 시간이 많이 소요되거나, 부품의 형상을 과도하게 단순화한 형상을 사용하여 실제 실험과의 불일치를 유발할 수 있다. 따라서 개별 부품의 재질 및 형상을 충분히 묘사하는 정확도를 확보하면서 전체 유공압 시스템의 해석 시간을 줄이는 기술이 필요하다.
- [0007] 아울러, 유공압 시스템의 개발 및 디자인 검증 과정 중에 부품 구성의 변경이 이루어지면 전체 시스템의 유량, 토출 압력 등의 주요 성능 지표가 크게 영향을 받게 된다. 기존의 3차원 CFD 시스템 해석을 통해서는 유체 유동의 정확한 해석을 위해 다시 긴 시간에 걸쳐 해석을 진행해야 하므로 디자인 변경에 따른 주요 유동 인자의 신속한 예측이 어렵다.
- [0008] 또한, 기존의 3차원 CFD 시스템 해석은 여러 설계 조건을 반영하여 성능 예측을 하기에 해석 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이에 신속한 설계 검증 및 반영으로 유공압 시스템의 전체 개발 기간을 획기적으로 줄이기 위해 유공압 시스템을 1차원 해석으로 적절하게 단순화하여 해석 시간을 감소시켜 디자인 변경에 따른 제품 성능을 효율적으로 예측할 수 있는 기술 개발이 필요하다.
- [0009] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국등록특허 제10-1381113호(2014.04.04 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 유공압 시스템을 1차원 해석으로 적절히 단순화하고 해석 시간을 감소시킬 수 있는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법 및 장치를 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명은, 근사모델 생성 장치에 의해 수행되는 근사모델 생성 방법에 있어서, 모델링 대상이 되는 유공압 시스템에 대한 부품의 형상을 포함한 복수의 속성 정보를 설계 변수로 지정하고, 목표로 하는 복수의 성능 지표를 타겟 변수로 지정하는 단계; 상기 지정한 설계 변수와 타겟 변수를 이용하여 생성한 소형 데이터 셋을 이용하여 상기 유공압 시스템의 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 위한 풀 모델을 구축하는 단계; 상기 풀 모델에서 상기 유공압 시스템의 전체 유체 배관을 설정 크기의 요소 구간으로 구분하고 각 요소 구간에 대해 설계 변수에 따른 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 수행하여 목표하는 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋을 구축하는 단계; 상기 각 요소 구간 별로 구축되는 상기 복수의 성능 지표의 데이터 셋을 설정 알고리즘에 적용하여 상기 요소 구간의 유동 손실 계수를 추출하는 단계; 및 상기 각 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간의 유동 손실 계수를 바탕으로 상기 유공압 시스템에 대한 1차원 근사 모델을 구축하는 단계를 포함한다.
- [0012] 또한, 상기 부품의 형상을 포함한 복수의 속성 정보는, 상기 부품의 형상 이외에, 부품간 연결 구조, 부품의 크기, 재질, 물성 중 적어도 하나를 더 포함할 수 있다.
- [0013] 또한, 상기 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋은, 상기 요소 구간에서의 유체 압력과 유량에 대한 데이터셋을 포함할 수 있다.
- [0014] 또한, 상기 유동 손실 계수를 추출하는 단계는, 상기 유체 압력과 유량에 대한 데이터셋을 상기 유체 압력과 유량 사이의 관계를 묘사한 유체역학적 모형 또는 인공신경망 모델에 적용하여, 상기 설계 변수에 따른 상기 요소 구간에서의 유체 압력과 유량 사이의 유동 손실 계수를 추출할 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 1차원 근사 모델을 구축하는 단계는, 상기 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간의 유동 손실 계수를 통합하여 상기 유공압 시스템의 전체 네트워크를 1차원으로 단순화하여 묘사한 강성 행렬(stiffness

matrix)을 구축할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 1차원 근사 모델을 구축하는 단계는, 상기 요소 구간의 유체 압력과 유량에 대한 선형 관계식을 바탕으로 전체 네트워크에 대한 강성 행렬을 구축하고, 상기 유공압 시스템의 구조와 상기 성능 지표를 통해 모델 최적화를 위한 경계 조건(boundary condition)을 설정할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 근사모델 생성 방법은 상기 1차원 근사 모델에 대한 해석을 반복 수행하여 상기 1차원 근사 모델을 최적화하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 1차원 근사 모델을 최적화하는 단계는, 상기 1차원 근사 모델에 대한 반복 계산을 통하여 설정된 경계 조건을 만족할 때까지 성능 지표의 값을 업데이트하는 최적화 작업을 수행할 수 있다.

[0019] 그리고, 본 발명은, 모델링 대상이 되는 유공압 시스템에 대한 부품의 형상을 포함한 복수의 속성 정보를 설계 변수로 지정하고, 목표로 하는 복수의 성능 지표를 타겟 변수로 지정하는 변수 설정부; 상기 지정한 설계 변수와 타겟 변수를 이용하여 생성한 소형 데이터 셋을 이용하여 상기 유공압 시스템의 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 위한 풀 모델을 구축하는 풀 모델 구축부; 상기 풀 모델에서 상기 유공압 시스템의 전체 유체 배관을 설정 크기의 요소 구간으로 구분하고 각 요소 구간에 대해 설계 변수에 따른 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 수행하여 목표하는 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋을 구축하는 데이터셋 구축부; 상기 각 요소 구간 별로 구축되는 상기 복수의 성능 지표의 데이터 셋을 설정 알고리즘에 적용하여 상기 요소 구간의 유동 손실 계수를 추출하는 손실계수 추출부; 및 상기 각 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간의 유동 손실 계수를 바탕으로 상기 유공압 시스템에 대한 1차원 근사 모델을 구축하는 1차원 모델 구축부를 포함하는 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 장치를 제공한다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따르면, 유공압 시스템을 1차원 해석으로 적절히 단순화하고 해석 시간을 감소시켜 디자인 변경에 따른 제품 성능을 효율적으로 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따라 생성된 유공압 시스템에 대한 1차원 근사 모델의 예시를 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0023] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0024] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

[0025] 도 1에 나타난 것과 같이, 본 발명의 실시예에 따른 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 장치(100)는 변수 설정부(110), 풀 모델 구축부(120), 데이터셋 구축부(130), 손실계수 추출부(140), 그리고 1차원 모델 구축부(150)를 포함한다. 여기서 각 부(110~150)의 동작과 각 부 간의 데이터 흐름은 제어부(미도시)에 의해 제어될 수 있다.

- [0026] 본 발명의 실시예에 따른 근사모델 생성 장치(100)는 프로세서, 메모리, 유저 인터페이스 입출력 장치, 저장 장치 등을 포함하는 컴퓨터 장치 혹은 사용자 단말의 형태로 구현될 수도 있고, 컴퓨터 장치나 사용자 단말에 실행되는 응용 프로그램으로 구현될 수도 있다.
- [0027] 변수 설정부(110)는 모델링 대상이 되는 유공압 시스템에 대한 부품의 형상을 포함한 복수의 속성 정보를 설계 변수로 지정하고, 목표로 하는 복수의 성능 지표를 타겟 변수로 지정할 수 있다.
- [0028] 그리고, 풀 모델 구축부(120)는 지정한 설계 변수와 타겟 변수를 이용하여 생성한 소형 데이터 셋을 이용하여 유공압 시스템의 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 위한 풀 모델(full model)을 구축한다.
- [0029] 데이터셋 구축부(130)는 구축한 풀 모델에서 유공압 시스템의 전체 유체 배관을 설정 크기의 요소 구간으로 구분하고, 각 요소 구간에 대해 설계 변수에 따른 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 수행하여 목표하는 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋을 구축할 수 있다. 예를 들어, 각 요소 구간에 대한 설계 변수에 따른 3차원 시뮬레이션을 통해서, 각 요소 구간에서의 유체 압력과 유량에 대한 데이터셋을 구축할 수 있다.
- [0030] 다음으로, 손실계수 추출부(140)는 각 요소 구간 별로 구축되는 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋을 설정 알고리즘에 적용하여, 요소 구간의 유동 손실 계수를 추출할 수 있다. 여기서, 설정 알고리즘은 유체역학적 모형, 인공신경망 모델 등에 해당할 수 있다.
- [0031] 1차원 모델 구축부(150)는 유공압 시스템에 대한 각 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간에 대해 추출된 유동 손실 계수를 바탕으로 유공압 시스템에 대한 1차원 근사 모델을 구축할 수 있다. 이때, 구축된 1차원 근사 모델은 1차원 단순화 파이프 네트워크 모델에 해당할 수 있다.
- [0032] 여기서, 1차원 모델 구축부(150)는 요소 구간의 유체 압력과 유량에 대한 선형 관계식을 바탕으로 전체 네트워크에 대한 강성 행렬을 구축하고, 유공압 시스템의 구조와 성능 지표를 통해 모델 최적화를 위한 경계 조건(boundary condition)을 설정할 수 있다.
- [0033] 이러한 1차원 모델 구축부(150)는 구축된 1차원 근사 모델에 대한 해석을 반복 수행하여 1차원 근사 모델을 최적화할 수 있다. 모델 최적화는 모델이 설정 경계 조건을 만족할 때까지 수행될 수 있다.
- [0034] 이와 같은 본 발명의 실시예에 따르면, 해석 시간이 오래 걸리는 기존의 3차원 CFD 시스템 해석과는 달리, 유공압 시스템을 1차원 해석으로 적절하게 단순화하여 해석 시간을 감소시켜서 디자인 변경에 따른 제품 성능을 효율적으로 예측할 수 있으며, 신속한 설계 검증 및 반영으로 유공압 시스템의 전체 개발 기간을 획기적으로 줄일 수 있다.
- [0035] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 유공압 시스템의 효율적 시뮬레이션을 위한 근사모델 생성 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0036] 먼저, 근사모델 생성 장치(100)는 모델링 대상이 되는 유공압 시스템에 대한 부품의 형상을 포함한 복수의 속성 정보를 설계 변수로 지정하고, 목표로 하는 복수의 성능 지표를 타겟 변수로 지정한다(S210).
- [0037] 모델링 대상이 되는 유공압 시스템은 기계 공학, 화학 공학, 생명공학 분야 등에서 적용되는 유공압 시스템을 모두 포함할 수 있다. 일반적으로 유공압 시스템은 복수의 파이프, 커넥터, 분배기, 노즐 등을 포함하는 각종 부품들로 구성되어 있다.
- [0038] 여기서, 설계 변수에 포함되는 부품에 대한 복수의 속성 정보란, 부품의 형상, 연결 구조, 부품 크기, 재질, 물성 등을 포함할 수 있다. 또한, 목표로 하는 복수의 성능 지표는 유체 압력, 유량 등을 포함할 수 있으며, 해석 목적에 따라 달라질 수 있다.
- [0039] 예를 들어, 이와 같은 변수 설정부(110)는 유공압 시스템 내 부품의 형상 및 구성(부품간 연결), 부품 재질(내부 표면 조도 특성), 유체 물성(밀도, 점도, 난류인자) 등을 설계 변수로 지정할 수 있다. 아울러, 변수 설정부(110)는 해석의 목적에 따라 유공압 시스템의 성능 지표로써 유체 토출량, 토출 압력 등을 주요 타겟 변수로 지정할 수 있다.
- [0040] 다음으로, 근사모델 생성 장치(100)는 지정된 설계 변수를 기반으로 풀 모델을 구축한다(S220).
- [0041] 근사모델 생성 장치(100)는 설정된 설계 변수와 타겟 변수를 이용하여 1차원 시스템 모델의 검증 목적으로 소형 데이터 셋을 생성하고, 소형 데이터셋을 이용하여 유공압 시스템의 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 위한 풀 모델을 구축한다.

- [0042] 여기서, 1차원 시스템 모델의 검증 목적으로, 한정된 범위의 설계 변수를 갖는 유공압 시스템의 3차원 CFD 해석 또는 실제 유공압 시스템의 실험을 통하여, 최소한의 설계 변수-성능 지표에 대한 소형 데이터셋을 생성할 수 있다.
- [0043] 본 발명에서는 이를 기본 데이터로 사용하여 1차원 근사 모델의 정확도를 평가할 수 있으며, 또한 추후 개발 완료된 1차원 근사 모델에 추가 데이터셋을 제공하여 모델의 정확성을 보다 더 높일 수 있다.
- [0044] 다음으로, 근사모델 생성 장치(100)는 풀 모델에서 유공압 시스템의 전체 유체 배관을 설정 크기의 요소 구간으로 구분한다(S230). 그리고, 구분한 각 요소 구간에 대해 설계 변수에 따른 3차원 유체 해석 시뮬레이션을 수행하여 목표하는 복수의 성능 지표에 대한 데이터 셋을 구축한다(S240).
- [0045] S230 단계에서, 근사모델 생성 장치(100)는 1차원 모델을 수립하기 위해 전체 유체 배관 시스템을 일정한 크기 혹은 설정된 크기를 갖는 요소의 집합으로 분할할 수 있다.
- [0046] 전체 배관 시스템을 복수의 요소로 분할하는 예시는 다양할 수 있다. 예를 들면, 각 구간의 유체 입구부, 출구부의 유동이 '완전 발달(fully developed)' 혹은 그에 근사한 흐름이 되는 특성 길이(혹은 경계)를 기준으로 구간을 분할할 수 있다. 이렇게 하는 이유는 만약 어떤 요소의 경계에서 유동이 완전 발달하지 않으면 인접한 주변 요소에 의해 입구와 출구에서의 유동 조건이 계속해서 변화하기 때문에 독립된 요소로써 기능을 하지 못하기 때문이다.
- [0047] 또한, 요소간 구간을 분할하기 위한 특성 거리로는 '입구 발달 길이(entrance length)'를 사용할 수 있다. 입구 발달 길이는 내부 유동의 레이놀즈 수 특성에 의존하는 값으로, 층류, 천이, 난류 유동에 따라 대략 배관 직경의 10 ~ 100배 길이를 갖는다.
- [0048] 그리고, 부품의 형상이나 재질, 곡률, 유체 특성이 급격하게 변하는 위치를 기준으로, 해당 요소의 경계를 상류, 하류 양쪽 방향으로 특성 거리만큼 떨어뜨려 정할 수 있다.
- [0049] S240 단계에서, 근사모델 생성 장치(100)는 앞서 정의한 유공압 시스템의 개별 분할 요소에 대해 유체 시뮬레이션을 수행하여, 목표하는 복수의 성능 지표에 대한 데이터셋을 구축할 수 있다. 이때, 목표하는 복수의 성능 지표는 유체 압력과 유량을 포함할 수 있다.
- [0050] 여기서, 각 구간에서의 주요 물리량으로는, 요소 구간의 입구부 압력과 출구부 토출 유량, 부품 온도와 열에너지 전달량, 화학 물질별 초기 농도와 물질별 이동량 등이 있다. 본 발명의 실시예의 경우 해당 요소 구간의 압력과 유량에 대한 데이터셋을 구축하는 것을 대표 예시로 한다.
- [0051] 이와 같이, 근사모델 생성 장치(100)는 각 요소 구간에 대한 설계 변수에 따른 3차원 시뮬레이션을 통해 각 요소 구간에서의 유체 압력과 유량에 대한 데이터셋을 구축할 수 있다. 이때, 해당 요소 구간에서 시뮬레이션 결과로부터 해당 구간에서 발생하는 압력 강하와 유량에 대한 데이터셋을 구축할 수 있다. 구체적인 예시로, 설계 변수 중 하나인 파이프 내 직경 변화에 따른 압력 강하 및 유량 변화를 보는 것이 목적이라면, 일부 파이프 직경에 따른 요소 구간의 압력 강하-유량 사이의 데이터셋을 구축할 수 있다.
- [0052] 다음으로, 근사모델 생성 장치(100)는 각 요소 구간 별로 구축되는 복수의 성능 지표의 데이터 셋을 설정 알고리즘에 적용하여 요소 구간의 유동 손실 계수를 추출한다(S250).
- [0053] 이러한 S250 단계는 해당 요소 구간에서 구축된 복수의 성능 지표에 대한 데이터셋 즉, 유체 압력-유량 데이터셋을 사용하여 해당 구간의 유동 손실 계수를 정의하는 단계를 나타낸다. 이때, 압력과 유량에 대한 물리량 사이의 관계를 모사하기 위해서 유체역학적 모형 혹은 인공신경망 모델을 사용할 수 있다.
- [0054] 여기서, 근사모델 생성 장치(100)는 유체 압력과 유량에 대한 데이터셋을 유체 압력과 유량 사이의 관계를 모사한 유체역학적 모형 또는 인공신경망 모델에 적용하여, 설계 변수에 따른 요소 구간에서의 유체 압력과 유량 사이의 유동 손실 계수를 추출할 수 있다.
- [0055] 구체적인 예시로, S250 단계는 앞서 구한 압력 강하-유량 사이의 데이터셋을 사용하여 유동 손실 계수를 계산한다. 이때, 요소가 일반적인 파이프 형태일 경우 파이프 내 유체 압력 p 와 유량 q 사이의 관계를 모사하는 이론적인 하겐-포아죄유 식(Hagen-Poiseuille equation)이나 유체 압력 p 와 유량 제곱 q^2 의 관계를 모사하는 실험적인 다시-바이스바하 식(Darcy-Weisbach equation)을 이용할 수 있다.
- [0056] 하지만, 요소가 일반적인 파이프가 아닌, 표면 조도의 변화, 복잡한 형상을 포함하고 있는 경우, 유체역학적인

모형이 일치하지 않을 수 있다. 이러한 경우에는 기 학습된 인공신경망 모델을 활용하여 설계 변수에 따른 성능 계수의 변화를 모사하는 유동 계수를 추출할 수 있다.

- [0057] 이와 같이, 요소 구간의 손실 계수 정의가 이루어진 이후, 근사모델 생성 장치(100)는 각 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간의 유동 손실 계수를 바탕으로 유공압 시스템에 대한 1차원 근사 모델을 구축한다(S260).
- [0058] 이를 위해, 구체적으로 근사모델 생성 장치(100)는 요소 구간 간 연결 정보와 각 요소 구간의 유동 손실 계수를 통합하여 유공압 시스템의 전체 네트워크를 1차원으로 단순화하여 모사한 강성 행렬(stiffness matrix)을 구축할 수 있다. 이때, 요소 구간의 유체 압력과 유량에 대한 선형 관계식을 바탕으로 전체 네트워크에 대한 강성 행렬을 구축할 수 있다.
- [0059] 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 생성된 유공압 시스템에 대한 1차원 근사 모델의 예시를 보여주는 도면이다.
- [0060] 예를 들어, 유동 압력 강하 및 유량을 구하기 위한 1차원 모델은 푸와죄유 흐름(Poiseuille flow) 모델에 기초하며 파이프 내의 유체 압력 p -유량 q 에 대한 선형 관계식을 통해 1차원 유한요소를 구성할 수 있다. 이러한 도 3은 유공압 시스템의 1차원 단순화된 모델과 및 강성 행렬을 예시적으로 보여주고 있다.
- [0061] 그리고, 근사모델 생성 장치(100)는 1차원 근사 모델의 구축과 함께, 유공압 시스템의 구조와 성능 지표를 통해 1차원 근사 모델의 최적화를 위한 경계 조건을 설정할 수 있다.
- [0062] 유동 계수에서 강성 행렬과 경계 조건을 구축하는 방법은 일반적인 유한요소방법(finite element method)와 동일할 수 있다. 다만 일반적인 유한요소방법에서 강성 행렬의 값은 유체의 기본 물리 상수인 반면, 본 발명의 방법에서의 강성 행렬은 사용자가 목적으로 하는 성능 지표 사이의 관계 식에 의해 도출되는 유동 계수인 점에서 일부 차이가 있다.
- [0063] 이후, 근사모델 생성 장치(100)는 1차원 근사 모델에 대한 해석을 수행한다(S270). 즉, 앞서 구축된 1차원 근사 모델 즉, 1차원 단순화 파이프 네트워크 모델에 대한 해석을 수행한다.
- [0064] 여기서, 근사모델 생성 장치(100)는 1차원 모델에 대한 해석을 반복 수행하여 1차원 근사 모델을 최적화한다. 즉, 반복 계산을 통해 전체 시스템이 만족해야 하는 경계 조건이 만족될 때까지, 성능 지표의 값을 업데이트하는 최적화 작업을 수행한다.
- [0065] 이와 같이, 근사모델 생성 장치(100)는 1차원 근사 모델에 대한 반복 계산을 통하여, 설정 경계 조건을 만족할 때까지 성능 지표의 값을 업데이트하는 최적화 작업을 수행할 수 있다. 이러한 과정을 통해 유공압 시스템을 단순화한 1차원 근사 모델에 대한 신뢰성 및 정확도를 높일 수 있다.
- [0066] 여기서, 근사모델 생성 장치(100)는 최적화 과정의 수렴도를 판별하여 일련의 수렴 조건을 만족하면 계산을 완료할 수 있다(S280). 이 과정에서 만일 제한 조건이 수렴이 되지 않으면, 시스템 개별 요소의 정확도를 개선하는 작업을 거친 후에 다시 1차원 모델을 구축하는 과정을 거칠 수 있다.
- [0067] 이와 같이 생성된 1차원 근사 모델을 사용하면, 유체 배관 시스템의 해석 시간을 큰 폭으로 감소시키는 것이 가능하며, 전체 시스템의 3차원 CFD 해석 결과와 비교하여 상당히 유사한 정확도를 보이는 해석 모델의 구축이 가능하다. 또한, 유체 배관 시스템의 단순화 모델을 통해 부품 변경, 내외부의 물리 화학적 조건의 변경에 따른 유동 특성의 빠르고 정확한 예측이 가능할 것으로 기대된다.
- [0068] 또한, 인공신경망을 이용하는 머신러닝 기법을 적용하면 부품의 형상이나 재료의 다소간 변경이 있을 때 내부 유체의 유동장을 높은 정확도로 예측할 수 있다. 아울러, 해석 자동화 프로그램을 개발하여 제품 성능예측이 가능한 시스템을 구축하여 설계 최적화를 추진할 수 있다.
- [0069] 이상과 같은 본 발명에 따르면, 유공압 시스템을 1차원 해석으로 적절히 단순화하고 해석 시간을 감소시켜 디자인 변경에 따른 제품 성능을 효율적으로 예측할 수 있다.
- [0070] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

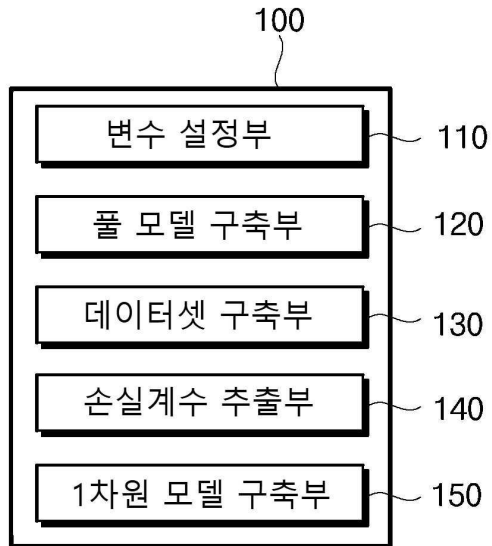
부호의 설명

- [0071] 100: 유공압 시스템의 근사모델 생성 장치

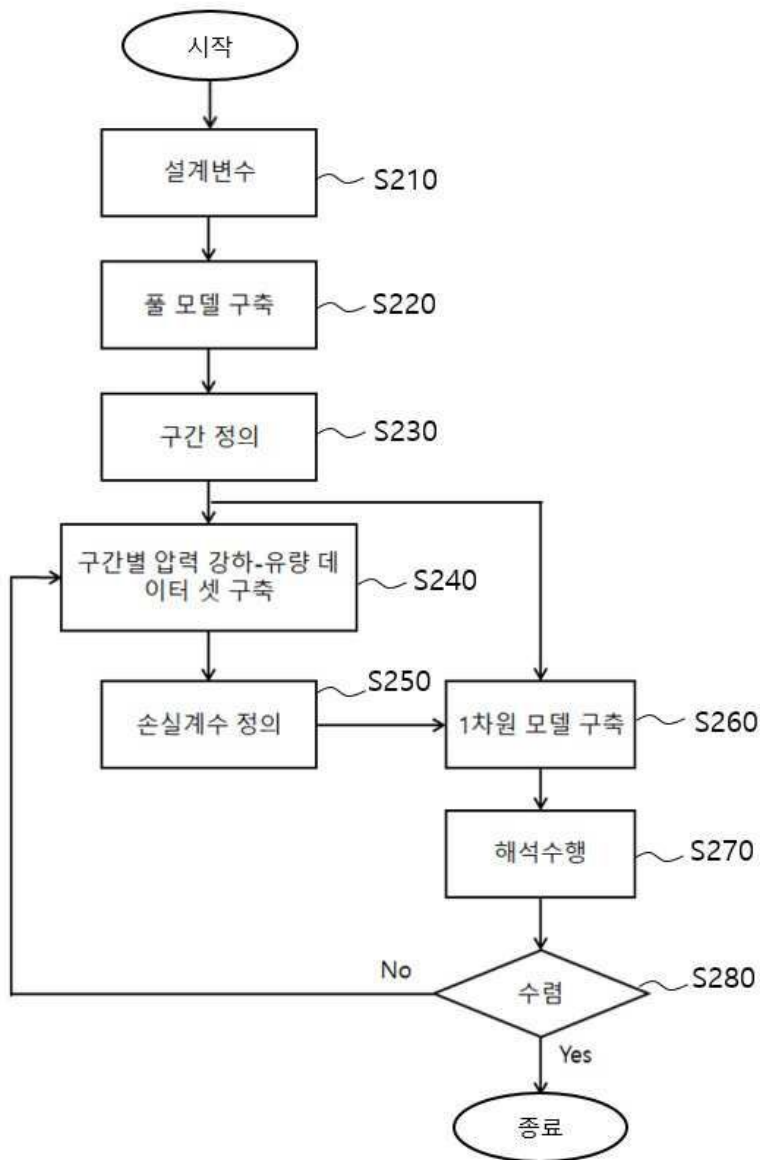
110: 변수 설정부 120: 풀 모델 구축부
130: 데이터셋 구축부 140: 손실계수 추출부
150: 1차원 모델 구축부

도면

도면1



도면2



도면3

